

氏 名（本籍） あん よんみ
安 英美 (韓国)

学 位 の 種 類 博士（工学）

報 告 番 号 乙第 1525 号

学位授与の日付 平成 26 年 9 月 30 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当（論文博士）

学 位 論 文 題 目

A Study on Enhanced Anaerobic Digestion of Sewage Sludge by
Pre-treatment and Co-digestion with Organic Wastes

論文審査委員（主 査）	福岡大学	教授	樋口 壯太郎
（副 査）	福岡大学	教授	重松 幹二
	福岡大学	教授	添田 政司
	韓国安養大学	教授	李 南勲

福岡大学博士学位論文

**A Study on Enhanced Anaerobic Digestion of Sewage Sludge by
Pre-treatment and Co-digestion with Organic Wastes**

前処理及び有機性廃棄物との混合消化による下水汚泥の
嫌気性消化効率の改善に関する研究

平成 26 年 9 月

安 英美

要 旨

背景と目的

韓国では2005年以降、下水汚泥の直接埋立禁止が施行され、2012年から下水汚泥の海洋の排出が全面禁止されることに伴って下水汚泥処理に対する新たな処理方案が必要になった。

また、韓国内の公共下水処理施設は運営管理面で水処理の部分に対する運営管理は円滑に行われているが、下水汚泥の減量、資源化及び処理部分に対する運営管理は脆弱な現況である。しかも、韓国内の公共下水処理施設は下水の収集、処理過程において多量のエネルギーを消費しているが、公共下水処理施設内のエネルギー自立率は0.8%に過ぎない現況である。このような状況下、下水道汚泥処理のエネルギー効率をあげるため、実態調査に基づき、前処理や他の有機性廃棄物との混合による消化効率向上に関する研究を行った。

研究方法

7ヶ所の公共下水処理施設の中、消化効率が低くて消化槽の効率改善の示範事業(エネルギー自立化示範事業)を推進している5ヶ所の公共下水処理施設の消化槽の有機物除去の現況、バイオガス性状分析及び硫化水素とシロキサン分析を実施し、バイオガスのBMP testを通じたメタン収率などを分析するために回分式実験を実施した。次に消化槽の後段のバイオガス活用施設及び下水汚泥処理の後続工程に影響を与える硫化水素やシロキサンを除去し、有機物と窒素負荷低減を行うために空気や過酸化水素を注入した前処理工程についてのラボ実験を行い、これに対する反応メカニズムなどを考察した。

結論

① 実態調査による評価

5ヶ所の公共下水処理施設の消化槽の有機物除去の現況、バイオガスの性状分析及び硫化水素とシロキサン分析のために現場分析を実施した。

消化槽の運営効率は消化槽内のVS/TS比率に従って増加することが分かって、VS/TS比率が低い下水汚泥を単独で消化する場合には、VS/TS比率を増加されるために生ごみ排水などと一緒に混合して消化することにより、消化効率の向上を期待できることが分かった。

下水処理場別のバイオガスの中、硫化水素を分析した結果、1,010~7,783ppmであり、消化槽内のシロキサンを分析した結果、10.2~49.5mgSiloxane/m³であり、シロキサンのうち環状のD4とD5の濃度が高いことが分かった。硫化水素とシロキサンは人体の有害性だけではなく下水汚泥を処理する後続設備の腐食性に問題点を起こすため、空気前処理及び過酸化水素前処理を通じたバイオガスの後処理工程が必要であることが分かった。

② 下水汚泥の嫌気性混合消化に対する動力学的特性および上昇効果の評価

Logistic式を利用した動力学解析の結果、遅滞期の場合、生ゴミ脱離液の混合比率が増加すれば遅滞期と共に増加していることが分かった。これは生ゴミ脱離額の高い生分解度により、VFAが累積に伴って遅滞期が増加したと判断される。メタン発生率の場合、有機性廃棄物の混合割合によって最大ピークの発生時間が異なり、嫌気性消化の期間中のメタン発生率のピークが二つ以上であった。これは基質の加水分解などの分解速度の違いにより、現れたとみなされている。累積メタン収率とVS除去率は有機性廃棄物の混合による上昇または拮抗効果は微々たることが分かった。ただ、累積メタン収率とVS除去率は生ゴミ脱離液の混合比率と線形関係のことが分かった。これは下水汚泥と家畜ふん尿のC/N比が非常に低いことに起因すると判断される。

③過酸化水素による前処理が嫌気性消化に及ぼす影響

過酸化水素のみで利用した汚泥の前処理は、嫌気性消化の際、律速段階として知られた加水分解が効果的に行われるように汚泥内に含まれている鉄と過酸化水素が反応して細胞外的高分子物質を分解して遅滞機を短縮させることができるだけでなく、メタン発生の速度及び最終メタン収率を増加させることができることが分かった。

④ 事前の空気前処理が嫌気性消化に及ぼす影響

嫌気性消化前の空気前処理が汚泥の可溶化や窒素、 S^{2-} 、 SO_4^{2-} 、シロキサン挙動に及ぼす影響を評価しようとした。実験の結果、SCOD(soluble chemical oxygen demand)は増加し、空気前処理をしなかった汚泥と比較した結果、メタン収率も高いことが分かった。したがって、下水汚泥の嫌気性消化の以前に空気前処理は嫌気性消化の効率を向上させることができ、メタン生成菌の活動を促進させることができるものと確認された。しかし、過度に空気を注入する場合、SCODの濃度は増加するが、メタン収率は減少することが分かっており、これは溶存酵素の増加および有機物の過剰な酸化でメタン収率が減少したものと判断される。嫌気性消化前の空気前処理が行われる間、アンモニア性窒素や全窒素の除去率が同時に増加し、これは同時硝化及び脱窒化(simultaneous nitrification and denitrification)の阻害現象が現れた。しかし、DO濃度が0.2 mg/Lを超過する場合、脱窒化が阻害されることができ。シロキサン濃度の場合、96時間の前処理をしたとき、40%程度が減少しており、これはシロキサンを吸着している細胞外的高分子物質が破壊されると共に吸着されているシロキサンが大気中に放出されることで、シロキサン濃度が低減されたものと判断される。したがって、嫌気性消化前の空気前処理の可溶化工法は、下水汚泥内のシロキサン濃度の低減と共にメタン収率を向上させることができ、窒素負荷も低減させて嫌気性消化の際、アンモニアによる毒性効果を低減させることができるものと判断される。

審査結果の要旨

申請論文は下水道汚泥に食品残渣、動植物残渣等の有機性廃棄物を混合し、嫌気性消化槽にて高濃度のバイオガスを回収、再利用し、汚泥を減容化するための研究である。その際、前処理として過酸化水素水注入や空気酸化によりバイオガス発生阻害要因である硫化水素やシロキサンを除去し、バイオガス収率向上を図ることを目的とするものである。

研究は韓国国内の全ての公共下水道処理施設を対象に実態調査を実施し、その中で汚泥の消化設備を有する公共下水道施設 5 か所についてバイオガス性状分析、硫化水素分析、シロキサン分析および BMP 試験を行い、メタンガス収率を分析するために回分式実験を行った。次に硫化水素、シロキサンを除去し、有機物と窒素負荷低減を行うために空気酸化や過酸化水素注入による前処理実験を行い、反応メカニズムを考察している。

その結果、硫化水素とシロキサンは人体への有害性のみならず後続設備の腐食性に問題があるため前処理が有効であることを明らかにした。

次に下水汚泥の嫌気性混合消化に対する動力学的特性から有機性廃棄物の混合割合によりメタン濃度のピーク発生時間が異なり、二つ以上のピークが存在することを見出し、この原因は基質の加水分解などの分解速度の違いであることを明らかにした。また過酸化水素や空気酸化による前処理が嫌気性消化に及ぼす影響を実験により確認し、いずれの方法もメタン発生速度および最終メタン収率を増加させ、前処理が有効であることを示した。特に空

気酸化による方法はシロキサン濃度の低下、窒素負荷低減によるアンモニア毒性低減効果に優れ、かつ経済的な処理が可能であることを示した。

我が国では下水道汚泥は脱水、焼却処理、処分が一般的であるが国際的にはバイオガス回収利用が主流である。ただし我が国においても下水道区域外のし尿や浄化槽汚泥の処理については食品残渣等の有機性廃棄物との混合処理によりバイオガス回収利用や残渣の堆肥化利用が行われている。

そうした面で本論文は国際的な研究動向の流れに沿っており、研究成果は国際的にも評価されるものである。

本論文は実証研究に先立ち、韓国国内の公共下水道処理施設の詳細な実態調査を行い、特に消化槽を有する施設については VS/TS 比率が低い下水汚泥の単独消化が困難であることや硫化水素やシロキサンのバイオガス発生への阻害要因等問題点を明確にした。これにもとづき、実験によりバイオガス収率をあげるため下水道汚泥と生ごみ排水等有機性廃棄物を混合し、VS/TS 比率の増加および C/N 比調整を行うこと、および酸化剤や空気酸化による前処理を行って消化阻害要因を取り除くことにより、メタン収率増加に成功した。この点に学術上の意義があり、かつ新規性、有効性が認められる。また論文形式や表記も適切である。

最終試験においても口頭による質疑、討論を行った結果、関連領域に関する十分な学識と研究能力を有すると判断した。

これらのことから総合的に判断して合格と判定する。